

УДК 57.045 574.24

**РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В РАСШИРЕНИИ НОЗОАРЕАЛА
ЛИХОРАДКИ ЗАПАДНОГО НИЛА В РОССИИ:
ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ТРЕНДОВ¹**

© 2021 г. С.В. Зелихина, Н.В. Шартова, В.А. Миронова, М.И. Варенцов

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
географический факультет, кафедра биогеографии
Россия, 119234, г. Москва, Ленинские горы, д. 1
E-mail: svetlana_2304@list.ru, mironova.va@gmail.com*

Поступила в редакцию 25.02.2021. После доработки 01.03.2021. Принята к публикации 01.04.2021.

Проведена оценка пространственно-временных трендов изменений климатических условий для распространения лихорадки Западного Нила (ЛЗН) на юге Европейской части России. В работе использованы данные наблюдений по 58 метеостанциям (1997-2018 гг.) и данные реанализа ERA-Interim (1981-2018 гг.). Оценка пригодности климатических условий для передачи вируса Западного Нила (ВЗН) проводилась на основе метода градусо-дней. В результате продемонстрирован рост суммы эффективных температур (ЭТ). Увеличение продолжительности сезона эффективной заражаемости комаров не прослеживается. Отмечено совпадение трендов роста сумм ЭТ с ростом средней температуры воздуха за эпидемический сезон. Данная ситуация создает благоприятные условия для развития вируса у комара, так как с увеличением ЭТ циркуляция вируса становится эффективней. Наиболее благоприятные температурные условия для развития ВЗН складываются в Прикаспии и Предкавказье, где происходит дальнейшее улучшение условий циркуляции ВЗН за счет увеличения сумм ЭТ. По сравнению с Предуральем, в центральной части Европейской территории России намного быстрее складываются условия, подходящие для передачи ВЗН, что, возможно, приведет к дальнейшему распространению ЛЗН в данном регионе.

Ключевые слова: лихорадка Западного Нила, вирус Западного Нила, климат, температура, климатический изменения, изменение нозоареала, метод градусо-дней, климатические тренды.

DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10159

Лихорадка Западного Нила (ЛЗН) – трансмиссивное природноочаговое заболевание, вызываемое вирусом Западного Нила (ВЗН) и передающееся преимущественно комарами, главным образом, между птицами. Человек и другие млекопитающие в циркуляцию вируса вовлекаются случайно и передавать инфекцию не могут (Hubalek, Halouzka, 1999).

В России первые случаи заражения ВЗН были зарегистрированы в 1997 г. в Астрахани (8 случаев). Массовое продвижение вируса на новые территории началось в 2010 г. (521 случай; О санитарно-эпидемиологической обстановке ..., 2011). К настоящему времени заражение ВЗН в России зарегистрировано на территории 24 субъектов федерации.

ЛЗН относят к новым и возвращающимся или эмерджентным (англ. «emerging and re-emerging») инфекциям, т.е. таким, которые «недавно возникли среди населения, либо существовали ранее, но существенно увеличили количество случаев, либо появились в новом для них географическом регионе» (Morse, 1995). Считается, что в низовьях Волги и Дона очаги ЛЗН существуют давно (впервые ВЗН был выделен в 1963 г.; Бутенко и др., 2014). За последние 20 лет нозоареал болезни

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Проект №17-77-20070 «Оценка и прогноз биоклиматической комфортности городов России в условиях изменения климата в XXI веке»), а также в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

распространился и на территории других регионов. Постоянное расширение ареала вируса делает проблему инфекции весьма актуальной.

В естественных условиях в передаче вируса участвуют околотовные и синантропные птицы, которые обеспечивают функционирование как сельских, так и городских очагов, а также комары, преимущественно из родов *Culex* и *Aedes*. Вирус заносится на территорию России с перелетными птицами. Наиболее стойкие очаги ЛЗН находятся на путях пролета перелетных птиц с юга и юго-востока (Батулин и др., 2012).

Особую роль в передаче вируса играет температура воздуха. Она лимитирует развитие ВЗН: передача вируса возможна только при среднесуточных температурах воздуха выше 14.3°C (Zou et al., 2007). Территории с аридным климатом за счет высоких температур воздуха обладают условиями, благоприятными для репликации ВЗН в переносчике и более активной передаче возбудителя млекопитающему, в том числе человеку. Однако вклад климатических факторов в расширение ареала ЛЗН в России до сих пор малоизучен. Большинство работ в России по изучению распространения ЛЗН носит эпидемиологический характер (Львов и др., 2008; Путинцева и др., 2011) или посвящено отдельным регионам (Москвитина и др., 2011; Алексеев и др., 2012). Недостаточно медико-географических работ, в которых бы комплексно рассматривалась проблема взаимосвязи распространения ЛЗН с условиями среды (Platonov et al., 2008; Адищева и др., 2016). При этом учет и анализ климатических условий необходим при оценке эпидемиологической опасности территории, прогнозе возникновения вспышек ЛЗН и определении мер профилактики инфекции. В связи с этим, цель данной работы – оценка пространственно-временных трендов изменений климатических условий для распространения лихорадки Западного Нила на юге Европейской части России.

Материалы и методы

В работе рассмотрена территория юга Европейской части России от Предкавказья до 54° с.ш., в пределах которой происходят случаи заражения ВЗН.

Для анализа изменения степени благоприятности климатических условий, влияющих на репликацию ВЗН, использованы данные наблюдений по 58 метеостанциям из архива метеорологических данных ВНИИГМИ-МЦД (Булыгина и др., 2020), равномерно расположенным по изучаемой территории и имеющих непрерывные сведения с 1997 по 2018 гг. (со времени официальной регистрации заболевания в РФ). Выбор метеорологических данных за указанный период связан с активным продвижением инфекции в новые регионы в это время. Для анализа долгосрочных трендов использованы данные реанализа ERA-Interim (Dee et al., 2011) за 1981-2018 гг., созданные Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 2021) и размещенные в открытом доступе. Реанализ ERA-Interim представляет метеорологические данные в узлах регулярной сетки глобального покрытия с пространственным разрешением 0.75°, полученные по результатам численного моделирования с усвоением всех доступных данных метеорологических наблюдений.

Оценка пригодности климатических условий для передачи ВЗН проводилась на основе метода градусо-дней (Allen, 1976). Данный метод позволяет установить время завершения репликации ВЗН в комаре и начала возможной передачи возбудителя человеку в течение эпидемического сезона (периода, когда среднесуточные температуры устойчиво выше пороговой температуры развития возбудителя 14.3°C, и активизируется его циркуляция). Основным параметром, определяющим возможность передачи вируса человеку, является сумма эффективных температур (ЭТ) выше 109°C, т.е. сумма превышений среднесуточных температур над пороговым значением. При достижении данного значения суммы ЭТ комар становится заразным. Чем выше среднесуточные температуры воздуха, тем быстрее накапливается необходимая сумма тепла и тем меньший период времени требуется для репликации вируса. Другим важным параметром является продолжительность сезона эффективной заражаемости комаров (СЭЗ), т.е. периода, в течение которого комар способен передавать вирус человеку. Началом СЭЗ является первый день с температурой более 14.3°C. Дата конца СЭЗ определяется путем отсчета суммы ЭТ 109°C от последнего дня с температурой выше порогового значения. Таким образом, определяется последний день, когда вирус, попавший в комара, может завершить репликацию, а комар способен заразить человека.

Расчет сумм ЭТ и продолжительности СЭЗ был проведен для каждого года анализируемых

периодов по данным метеостанций (1997-2018 гг.) и данным реанализа (1981-2018 гг.). Затем для рассматриваемых показателей были проанализированы временные тренды и их значимость. Был определен коэффициент наклона линии тренда методом оценочной функции Сена для оценки скорости изменений и уровень достоверности Р-значений (вероятности), при котором тренд статистически значим. По полученным данным с помощью программных пакетов ArcGIS и MapInfo были построены карты пространственного распределения изменений сумм ЭТ и продолжительности СЭЗ.

Дополнительно проведен анализ хода изменений продолжительности СЭЗ и сумм ЭТ с 1997 по 2018 гг. и его сравнение со средней температурой воздуха за эпидемический сезон на примере нескольких репрезентативных метеостанций, чтобы понять, насколько совпадают их тренды. Для южной части региона исследования, как территории с повышенным эпидемическим риском и давним существованием очагов ЛЗН, выбраны метеостанции Волгограда (синоптический индекс, согласно Всемирной метеорологической организации, – 34561), Таганрога (34720), Волгодонска (34646), с. Ремонтное (34759) и Астрахани (34880). Для центральной части Европейской территории России и Предуралья взяты метеостанции Сухиничей (27707), Воронежа (34123), Казани (27595), Оренбурга (35121) и Троицка (28748).

Результаты и обсуждение

Пространственно-временные изменения сумм ЭТ. За период с 1997 по 2018 гг. прослеживается четкая тенденция к увеличению сумм ЭТ за эпидемический сезон. Для большинства метеостанций данный тренд статистически значим (вероятность $P < 0.05$; рис. 1). При этом максимальная скорость роста сумм ЭТ отмечена для метеостанций южных регионов. Минимальная тенденция изменения сумм ЭТ характерна для Предуралья, что согласуется с более низкими темпами роста летних температур в этом регионе (Второй оценочный доклад ..., 2014; Varentsov et al., 2020).

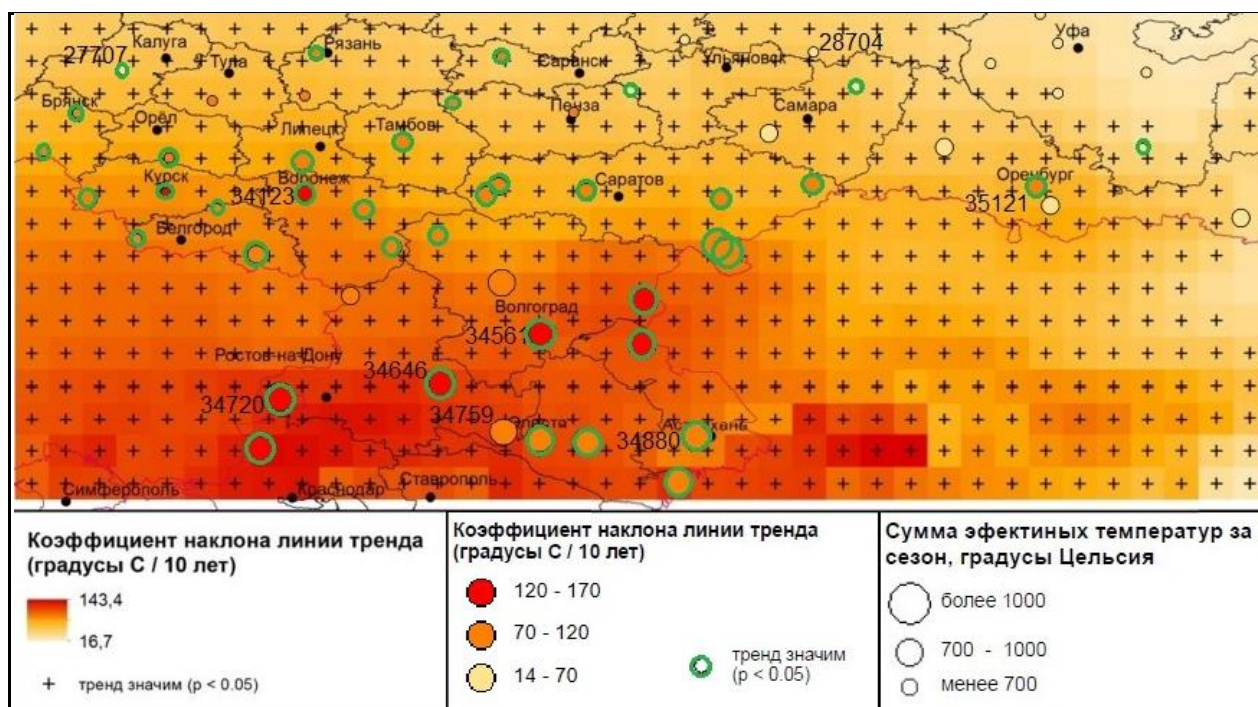


Рис. 1. Пространственное распределение изменений сумм эффективных температур по метеостанциям (1997-2018 гг.) и данным реанализа (1981-2018 гг.). Для метеостанций, синоптические индексы которых отображены на карте, проведено сравнение изменения сумм ЭТ со средней температурой воздуха за 1997-2018 гг.

Для метеостанций, расположенных в южных регионах и выбранных для более детального анализа, отмечено совпадение трендов роста сумм ЭТ с ростом средней температуры воздуха за

эпидемический сезон (рис. 2). Можно отметить, что изменения и суммы ЭТ, и средней температуры воздуха наиболее четко прослеживаются в западных пунктах, расположенных на побережье Черного моря. Чуть медленнее, но также заметно процесс идет в Прикаспии, что подтверждается значениями коэффициента наклона линии тренда для сумм ЭТ >10°C.

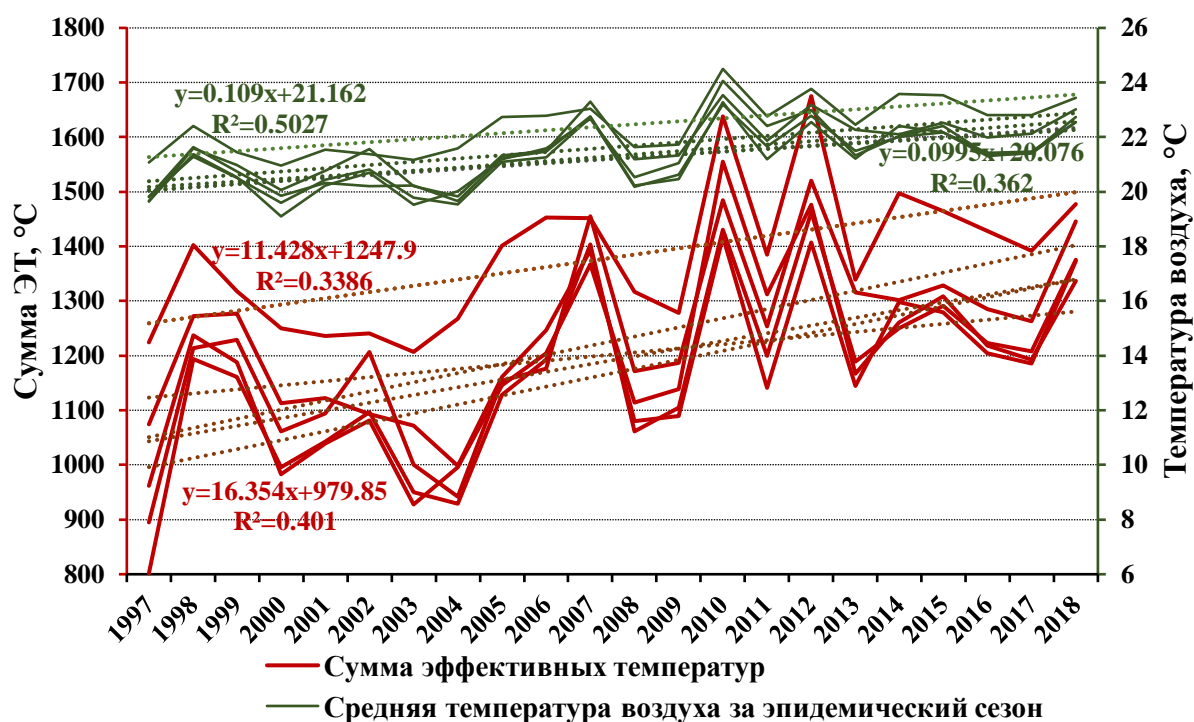


Рис. 2. Изменение сумм ЭТ и средней температуры воздуха (с их линейными трендами и формулами для первой и последней прямой в группе) за эпидемический сезон по метеостанциям южных регионов за 1997-2018 гг. (метеостанции сверху вниз: Астрахань (34880), с. Ремонтное (34759), Волгоград (34561), Таганрог (34720), Волгодонск (34646)). Условные обозначения: линейные тренды даны пунктиром.

При анализе пространственной неоднородности показателя суммы ЭТ на выбранных метеостанциях наибольшие его значения (более 1600°C в 2010 и 2012 гг.) зарегистрированы для метеостанции Астрахани (34880), что объясняется более континентальным климатом, а, следовательно, и более жарким летом. Из всех проанализированных метеостанций только в Астрахани значения суммы ЭТ за выбранный отрезок времени никогда не опускались ниже 1200°C, в то время как в остальных пунктах наблюдения минимальные значения не превышают 1000°C.

Для метеостанций остальной территории можно отметить те же закономерности в особенностях хода суммы ЭТ и средней температуры воздуха за эпидемический сезон, что и для южных. Общий тренд изменения сумм ЭТ совпадает с изменением средней температуры воздуха (рис. 3).

Изменения, отмечаемые за небольшой временной период, совпадают с тенденциями на основе данных реанализа за почти 40 лет (рис. 1): наблюдается уменьшение скорости роста ЭТ с увеличением континентальности климата к востоку и уменьшением средней температуры воздуха к северу. По данным реанализа почти на всей территории исследования (за исключением Предуралья) тренд изменения сумм ЭТ статистически значим, в то время как по данным метеостанций тренд не значим в Поволжье (7 метеостанций), центральной части (3) и Северо-Кавказском регионе (2).

Пространственно-временные изменения продолжительности СЭЗ. Анализ изменения продолжительности СЭЗ с 1997 по 2018 г. не выявил роста показателя по данным метеостанций (рис. 4). Продолжительность СЭЗ не имеет четкого направления изменений, она может как увеличиваться, так и сокращаться год от года. Наиболее короткий СЭЗ (90 дней) отмечен в Предуралье. Максимальная величина СЭЗ (более 200 дней) зафиксирована на Черноморском побережье, где климат переходный к субтропическому, а зима непродолжительная.

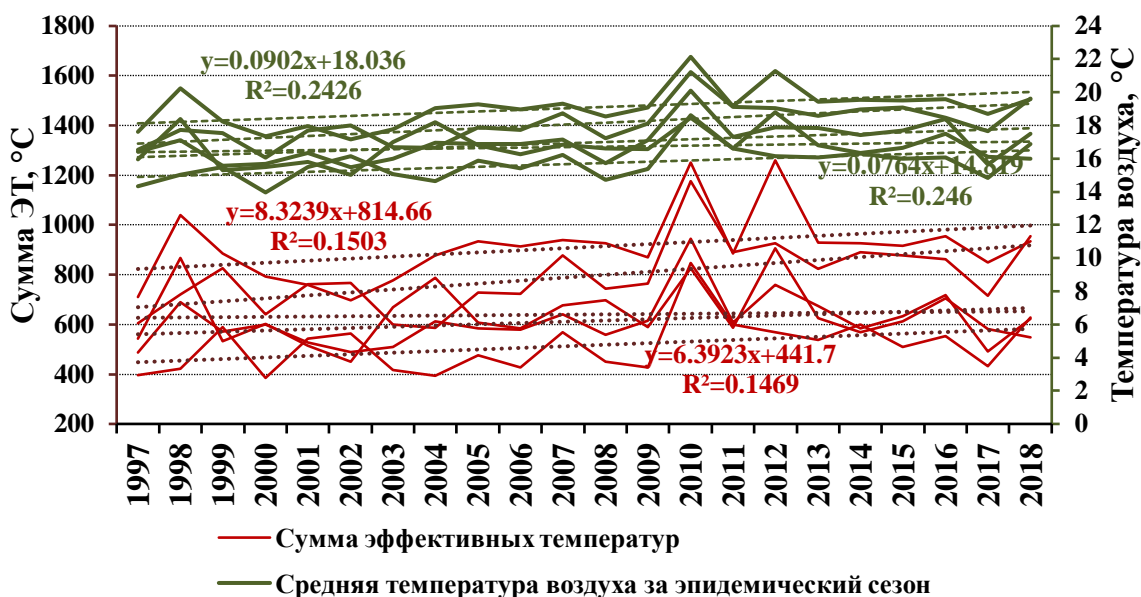


Рис. 3. Изменение сумм ЭТ и средней температуры воздуха (с их линейными трендами и формулами для первой и последней прямой в группе) за эпидемический сезон по метеостанциям центральной части Европейской территории России и Предуралья за 1997-2018 гг. (метеостанции сверху вниз: Оренбург (35121), Воронеж (34123), Казань (27595), Сухиничи (27707) и Троицк (28748)). Условные обозначения: линейные тренды даны пунктиром.

Данные реанализа за 1981-2018 гг. показывают быстрое увеличение продолжительности СЭЗ в Причерноморье и Предкавказье. На равнинном юге, в Поволжье и Предуралье изменения продолжительности СЭЗ практически не прослеживаются. При этом увеличение СЭЗ происходит на территории Среднерусской возвышенности (рис. 4). Таким образом, повышенным эпидемическим риском обладают не только южные регионы рассматриваемой модельной территории, но и северо-западные. Судя по полученному неоднородному пространственному распределению изменений СЭЗ, повышенное внимание органов эпидемиологического надзора требуется центральной части ЕТР.

Результаты применения метода градусо-дней с разными массивами данных показывают рост благоприятности температурных условий для развития и циркуляции возбудителя ЛЗН практически на всей исследуемой территории, при этом в Предуралье процесс идет медленнее. Характер изменения продолжительности СЭЗ неоднозначен. В целом получены согласованные результаты пространственного распределения анализируемых показателей по данным метеостанций и реанализу ERA-Interim. При этом данные реанализа дают более наглядную картину изменения показателей в сравнении с данными метеостанций, покрытие которых по модельной территории недостаточно полное. Определена большая значимость тренда по данным реанализа. Полученные различия, возможно, были вызваны использованием разного временного отрезка.

Наблюдаемые изменения сумм ЭТ как по данным реанализа, так и по данным метеостанций свидетельствуют об улучшении температурных условий для развития и передачи возбудителя. Данная ситуация создает благоприятные условия для репликации вируса, возможность передачи которого зависит от температуры. С ростом суммы температур репликация вируса в комаре будет происходить быстрее, и потребуются меньше времени для заражения человека. Таким образом, циркуляция вируса может происходить более эффективно. Кроме того, высокие температуры могут благоприятствовать передаче вируса путем ускорения темпов роста популяций переносчиков, увеличения скорости развития комаров, уменьшения интервалов между приемами крови и, соответственно, повышению эффективности передачи вируса позвоночным (Semenza et al., 2016). Однако следует учитывать, что чрезмерно высокие температуры (свыше 30°C) начинают замедлять активность переносчиков и снижают выживаемость личинок комаров (Виноградова, 1997).

Наиболее благоприятные температурные условия для развития ВЗН складываются в Прикаспии и Предкавказье, где происходит и дальнейшее улучшение условий циркуляции ВЗН за счет увеличения и сумм ЭТ, и продолжительности СЭЗ. По сравнению с Предуральем, в центральной части ЕТР

намного быстрее складываются условия, подходящие для передачи ВЗН, что, возможно, приведет к усилению активности циркуляции ВЗН и дальнейшему распространению ЛЗН в данном регионе.

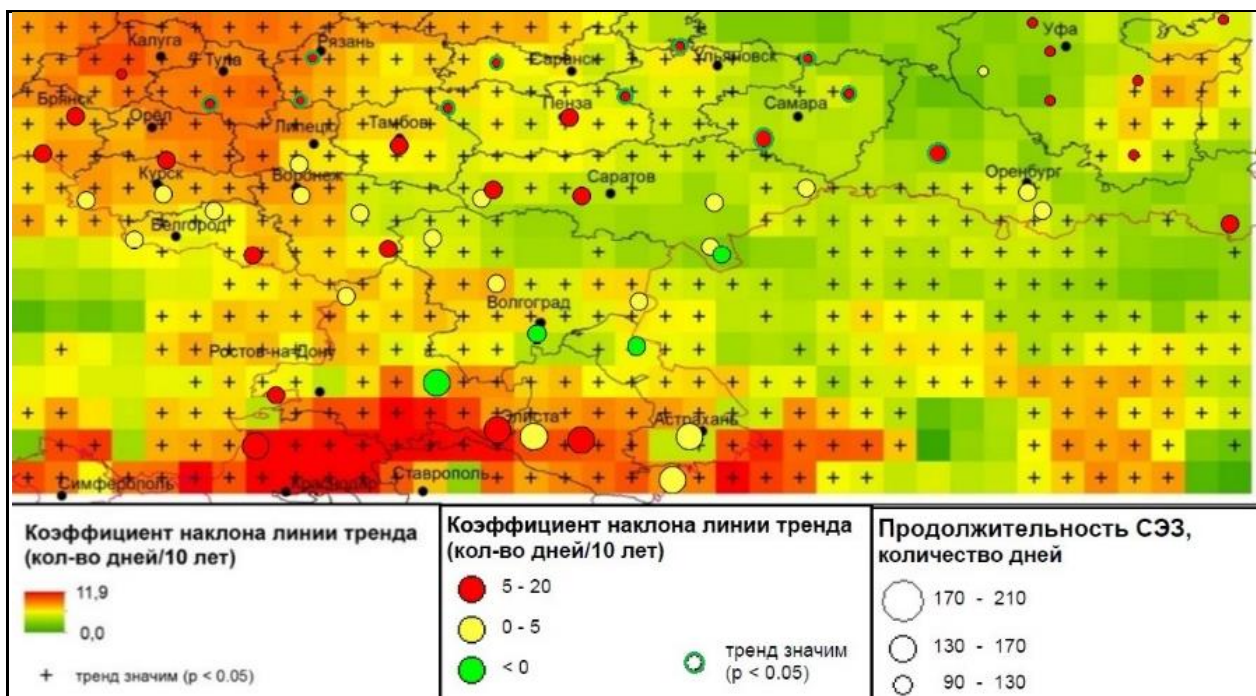


Рис. 4. Пространственное распределение изменений продолжительности СЭЗ по метеостанциям (1997-2018 гг.) и данным реанализа (1981-2018 гг.)

На основе сравнения изменения сумм ЭТ со средней температурой воздуха за эпидемический сезон можно отметить, что условия для развития вируса улучшаются и формируются быстрее, чем изменяется средняя температура воздуха.

Также на основе проведенного анализа хода изменений сумм ЭТ и средней температуры воздуха за эпидемические сезоны с 1997 по 2018 гг. прослеживается, что в годы с пиковыми значениями данных показателей происходили вспышки болезни. Так, крупнейшая вспышка ЛЗН в Волгоградской области (более 400 случаев) произошла в 2010 г., когда были зафиксированы рекордные значения сумм ЭТ. Сходная ситуация, но с меньшим числом заболевших (немного свыше 200) произошла и в 2012 г. (рис. 5).

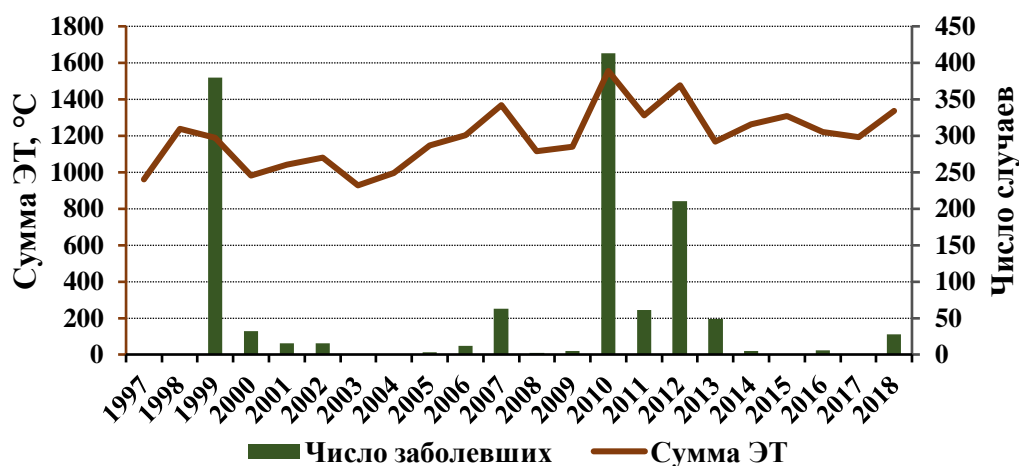


Рис. 5. Динамика сумм ЭТ по метеостанции Волгограда (34561) и числа заболевших ЛЗН в Волгоградской области.

Аналогичная связь температуры с заболеваемостью ЛЗН получена и в других исследованиях, проведенных для Европы и Ближнего Востока. Подробный анализ вспышки ЛЗН в 2010 г. в Европе и характера температурных условий в данный год показал, что аномально высокие летние температуры могут быть предвестниками роста числа заболевших ЛЗН, особенно в более северных широтах (Россия и Румыния; Paz et al., 2013). Исследование, проведенное А. Гран с соавторами (2014) для территории Европы на основе данных 2002-2011 гг., также подтверждает выводы о связи крупной вспышки ЛЗН 2010 г. с повышенными значениями температур в этот период.

В России связь климата с ЛЗН рассмотрена для Волгограда (Platonov et al., 2008, 2014). Анализ исторических климатических данных Волгограда с 1900 года по настоящее время показал, что 1999 и 2007 годы были самыми тёплыми и в эти годы отмечались вспышки заболеваемости ЛЗН. Аналогичные результаты были сделаны при анализе погодных условий Израиля во время вспышки в 2000 г. (Paz, 2006; Paz and Albersheim, 2008).

По результатам нашего исследования наиболее благоприятные климатические условия для распространения и передачи ВЗН складываются для аридных территориях Прикаспия. Однако в работах некоторых авторов (Paz, 2006) отмечено, что большинство случаев заболеваний ЛЗН в Израиле в 2000 г. происходило в более влажном западном регионе, а не в аридном восточном.

Нами рассмотрен лишь один из факторов, влияющих на распространение ЛЗН. Несмотря на то что этот фактор является лимитирующим для репликации вируса для тех территорий, где суммы ЭТ набираются в достаточном количестве, необходим учет других факторов, в том числе влияющих на популяцию переносчиков (характер и сумма осадков, температура воды, влажность воздуха и др.). Обнаружение увеличения сумм ЭТ и продолжительности СЭЗ на северо-западе исследуемой территории может существенно повысить эпидемическую опасность данных территорий в будущем при сохранении существующих тенденций климатических изменений.

Выводы

С момента начала официальной регистрации инфекции в 1997 г. в Астраханской области ВЗН активно циркулирует по территории России и осваивает новые территории.

Расчет сумм эффективных температур с 1997 по 2018 гг. показывает их рост за указанный период. Причем сумма ЭТ растет быстрее, чем средняя температура воздуха за эпидемический сезон. Выявленная ситуация свидетельствует об улучшении температурных условий для развития возбудителя и более эффективной циркуляции вируса. Наиболее благоприятные температурные условия для развития ВЗН складываются в Прикаспии и Предкавказье, где происходит и дальнейшее улучшение условий циркуляции ВЗН за счет увеличения сумм ЭТ. По сравнению с Предуральем, в центральной части ЕТР намного быстрее складываются условия, подходящие для передачи ВЗН, что, возможно, приведет к усилению активности циркуляции ВЗН и дальнейшему распространению ЛЗН в данном регионе при сохранении существующих тенденций климатических изменений.

Представленные результаты указывают на важность учета климатических факторов в оценке риска распространения ЛЗН в дальнейшем. Мониторинг температуры воздуха в зонах повышенного риска заражения ВЗН (особенно аридных территориях) можно использовать для начала программ по борьбе с переносчиками болезней и просвещению населения, тем самым предотвращая крупнейшие вспышки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адищева О.С., Малхазова С.М., Орлов Д.С. 2016. Распространение лихорадки Западного Нила в России // Вестник Московского университета. Серия 5. География. № 4. С. 48-54.
- Алексеев В.В., Смелянский В.П., Путинцева Е.В., Зленко А.В., Чайка А.Н. 2012. Лихорадка Западного Нила в Волгоградской области в 2010 году // Здоровье населения и среда обитания. № 4. С. 22-24.
- Батулин А.А., Антонов В.А., Смелянский В.П., Жуков К.В., Чернобай В.Ф., Колякина Н.Н. 2012. Роль птиц как потенциальных резервуаров вируса Западного Нила на территории РФ // Проблемы особо опасных инфекций. Вып. 114. С. 18-21.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. 2020. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485 [Электронный ресурс <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения 15.12.2020)].
- Бутенко А.М., Козлова А.А., Ларичев В.Ф., Дзагурова Т.К., Пантюхова Р.А., Важненкова Н.С., Карлова В.М.,

- Василькова О.И.* 2014. Лихорадка Западного Нила в Тульской области // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. № 2. С. 20-25.
- Виноградова Е. Б.* 1997. Комары комплекса *Culex pipiens* в России // *Зоологический институт РАН*. Т. 271. 306 с.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2014 / Ред. А.В. Фролов. М.: Росгидромет. 60 с.
- Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). 2021 [Электронный ресурс <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/> (дата обращения 28.01.2021)].
- Львов Д.К., Савченко С.Т., Алексеев В.В., Липницкий А.В., Пашанина Т.П.* 2008. Эпидемиологическая ситуация и прогноз заболеваемости лихорадкой Западного Нила на территории Российской Федерации // *Проблемы особо опасных инфекций*. Вып. 95. С. 10-12.
- Москвитина Э.А., Забаица М.В., Пичурина Н.Л., Орехов И.В., Ломов Ю.М., Адаменко В.И., Феров В.Д., Забаица А.В., Веркина Л.М., Ковалев Е.В., Айдинов Г.В., Швагер М.М., Дворцова И.В., Гайбарян К.С., Говорухина М.В., Мортикова Ю.Н.* 2011. Лихорадка Западного Нила в Ростовской области: эколого-эпидемиологические особенности вспышки 2010 года // *Проблемы особо опасных инфекций*. С. 31-35.
- О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2010 году: Государственный доклад. 2011. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 431 с.
- Путинцева Е. В., Липницкий А.В., Алексеев В.В., Смелянский В.П., Антонов В.А., Мананков В.В., Погасий Н.И., Зленко А.В., Чайка А.Н., Крючкова Т.П., Савченко С.Т., Жуков К.В.* 2011. Распространение лихорадки Западного Нила в мире и Российской Федерации в 2010 г. // *Проблемы особо опасных инфекций*. Вып. 107. С. 38-41.
- Allen J.C.* 1976. Modified sine wave method for calculating degree days // *Environmental Entomology*. No. 53. P. 388-396.
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U.* 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. No. 137 (656). P. 553-597.
- Hubalek Z., Halouzka J.* 1999. West Nile fever—a reemerging mosquito-borne viral disease in Europe // *Emerging Infectious Diseases*. Vol. 5. No. 5. P. 643-650.
- Morse S.* 1995. Factors in the emergence of infectious disease // *Emerging Infectious Diseases*. Vol. 1. No. 1. P. 7-15.
- Paz S.* 2006. The West Nile Virus outbreak in Israel (2000) from a new perspective: the regional impact of climate change // *International Journal of Environmental Health Research*. Vol. 16. No.1. P. 1-13.
- Paz S., Albersheim I.* 2008. Influence of warming tendency on *Culex pipiens* population abundance and on the probability of West Nile fever outbreaks (Israeli Case Study: 2001-2005) // *Ecohealth*. No. 5 (1). P. 40-48.
- Paz S., Malkinson D., Green M.S., Tsioni G., Papa A., Danis K., Sirbu A., Ceianu C., Katalin K., Ferenczi E., Zeller H., Semenza J.C.* 2013. Permissive summer temperatures of the 2010 European West Nile fever upsurge // *PLoS One*. No. 8 (2). P. 1-9.
- Platonov A.E., Fedorova M.V., Karan L.S., Shopenskaya T.A., Platonova O.V., Zhuravlev V.I.* 2008. Epidemiology of West Nile infection in Volgograd, Russia, in relation to climate change and mosquito (Diptera: Culicidae) bionomics // *Parasitology Research*. Vol. 103. P. 45-53.
- Platonov A.E., Tolpin V.A., Gridneva K.A., Titkov A.V., Platonova O.V., Kolyasnikova N.M., Busani L., Rezza G.* 2014. The Incidence of West Nile Disease in Russia in Relation to Climatic and Environmental Factors // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. No. 11 (2). P. 1211-1232.
- Semenza J.C., Tran A., Espinosa L., Sudre B., Domanovic D., Paz S.* 2016. Climate change projections of West Nile virus infections in Europe: implications for blood safety practices // *Environmental Health*. Vol. 15. P. 125-136.
- Tran An., Sude B., Paz S. Rossi M., Desbrosse An., Chevalier V., Semenza J.C.* 2014. Environmental predictors of West Nile fever risk in Europe // *International Journal of Health Geographics*. Vol. 13. No. 26. P. 1-11.
- Varentsov M., Shartova N., Grischenko M., Konstantinov P.* 2020. Spatial Patterns of Human Thermal Comfort Conditions in Russia: Present Climate and Trends // *Weather, Climate, and Society*. No. 12. P. 629-642.
- Zou Li, Miller S.N., Schmidtman E.* 2007. A GIS tool to estimate West Nile Virus risk based on a degree-day model // *Environmental Monitoring and Assessment*. No. 129 (1-3). P. 413-420.